

3. ANSYS Fluent User's Guide. Release 15.0. – ANSYS, Inc. November 2013. – 2692 p.
4. Бухмиров В.В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / В.В. Бухмиров [и др.]. – Иваново, ИГЭУ, 2009. – 104 с.
5. Лаптев А.П. Гигиена / А.П. Лаптев, С.А. Полиевский. – М.: Физкультура и спорт, 1990. – 368 с.
6. СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения. – М.: ФАУ ФЦС, 2014 – 76 с.
7. Юн А.А. Расчет и моделирование турбулентных течений с теплообменом, смешением, химическими реакциями и двухфазных течений в программном комплексе FASTEST-3D: учебное пособие / А.А. Юн, Б.А. Крылов. – М.: МАИ, 2007. – 116 с.
8. Bukhmirov V.V. Simulation of the processes of heat- and mass transfer in the rooms of public building with the natural ventilation / MATEC Web of Conferences: сборник научных трудов. – 2017. – № 92. – С. 1 – 5.

УДК 621.1:667

В. В. Бухмиров, А. К. Гаськов

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР

Аннотация

Приведены результаты экспериментального исследования теплофизических свойств и энергетической эффективности тонкоплёночных энергосберегающих покрытий, состоящих из полых микросфер и связующего материала. Выполнена оценка значения коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски в зависимости от её состава и температуры, определено значение коэффициента температуропроводности. Приведены результаты экспериментального определения энергетической эффективности использования тонкоплёночных покрытий для утепления фасадов зданий и в качестве тепловой изоляции для трубопроводов с горячим теплоносителем.

Ключевые слова: тепловые потери, тепловая изоляция, энергосберегающая краска

Abstract

The results of an experimental study of the thermophysical properties and energy efficiency of thin-film energy-saving coatings consisting of hollow microspheres and a binder are presented. The value of the coefficient of thermal conductivity of the energy-saving paint is estimated depending on its composition and temperature, and the thermal diffusivity coefficient is determined. The results of the experimental determination of the energy efficiency of the use of thin-film coatings for the insulation of facades of buildings and as thermal insulation for pipelines with a hot coolant are presented.

Key words: heat loss, thermal insulation, energy-saving paint

Снижение тепловых потерь является актуальной задачей повышения энергетической эффективности промышленных теплоэнергетических систем. Для уменьшения потерь тепловой энергии используют различные теплоизоляционные материалы, которые должны обладать рядом специальных качеств, главным из которых является низкое значение коэффициента теплопроводности. Основная доля рынка (~97%) теплоизоляционных материалов приходится на неорганические материалы – утеплители из минеральной ваты и пенопласты [1]. В настоящее время в целях энергосбережения достаточно широко стали применять тонкоплёночные покрытия (энергосберегающие краски), состоящие из полых

микроффер и связующего материала, которые обладают свойствами красок, но с пониженным значением коэффициента теплопроводности. Анализ научной литературы показал, что известные данные о потребительских и теплофизических свойствах энергосберегающих красок значительно отличаются друг от друга, поэтому исследования свойств тонкоплёночных покрытий на основе полых микроффер является актуальной научной задачей.

Исследование теплофизических свойств энергосберегающих красок

В данном разделе приведены результаты экспериментального определения коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски в зависимости от температуры и массового содержания полых стеклянных микроффер марки МС–В2Л в связующем материале из стирол-акриловой дисперсии «Акрилан 101» и экспериментальные значения коэффициента температуропроводности энергосберегающей краски, изготовленной на одном из предприятий химической промышленности г. Иваново.

Оценка значения коэффициента теплопроводности выполнена экспериментально для образцов энергосберегающей краски с массовым содержанием микроффер 8%, 25% и 32,6% в связующем материале из акрила и для образца из акрилового покрытия без добавления микроффер. Толщина исследуемых образцов составила: 1,5 мм для связующего материала с добавлением микроффер и 1 мм для чистого акрила. Коэффициент теплопроводности образцов получен на лабораторном стенде методом цилиндрического слоя в стационарном режиме теплопроводности. Выполнена серия экспериментов при разных значениях теплового потока, проходящего через исследуемые образцы. Среднее значение коэффициента теплопроводности в интервале температур $20 \div 100^\circ\text{C}$ составило: для связующего материала (акрила) – $\sim 0,028$ Вт/м·К; при 8% содержании микроффер в энергосберегающей краске по массе – $\sim 0,025$ Вт/м·К; при 25% содержании микроффер – $0,022$ Вт/м·К; при 32,6% содержании микроффер – $0,019$ Вт/м·К. Коэффициент теплопроводности исследуемой энергосберегающей краски в диапазоне температур $20 \div 100^\circ\text{C}$ с погрешностью не более 12% можно аппроксимировать формулой, Вт/м·К:

$$\lambda = \frac{2,24}{10^4} T - \left(\frac{2,44}{10^6} T + \frac{1,27}{10^4} \right) C + \frac{1,61}{10^2},$$

где C – массовая концентрация микроффер, %; T – температура, $^\circ\text{C}$.

Коэффициент температуропроводности энергосберегающей краски найден по методу регулярного режима, реализованного при помощи модифицированного воздушного «а-калориметра», в котором исследуемый образец несимметрично нагревался продольно омывающим его потоком горячего воздуха. При этом скорость потока воздуха была выбрана таким образом, чтобы для нагреваемого образца выполнялось условие термически толстого тела $Bi > 100$. Исследуемый образец представлял собой параллелепипед с размерами $45 \times 60 \times 75$ мм, выполненный из энергосберегающей краски с массовым содержанием микроффер $\sim 32,6$ % в связующем материале из акрила. Образец, теплоизолированный минеральной ватой со всех сторон, кроме рабочей поверхности, обдувался потоком горячего воздуха от нагнетателя со встроенным нагревателем. При помощи блока управления нагнетателем можно было изменять скорость и температуру потока воздуха в интервале $0 \div 20$ м/с и $20 \div 120$ $^\circ\text{C}$ соответственно. При выполнении экспериментов скорость и температура воздушного потока были измерены при помощи метеометра МЭС–200А с погрешностью измерения скорости $\pm 1,5$ м/с и температуры $\pm 0,5$ $^\circ\text{C}$. Температура образца в трех точках (в центре, на верхней и нижней гранях) определена при помощи термопар типа «Т» и вторичного прибора ADAM–4000 с погрешностью измерения ± 1 $^\circ\text{C}$. В результате проведения серии экспериментов при разных значениях температуры потока воздуха было получено, что значение коэффициента температуропроводности энергосберегающей краски находится в диапазоне $2,7 \cdot 10^{-8} \div 3,1 \cdot 10^{-8}$ м²/с.

Исследование энергетической эффективности энергосберегающих красок

В данном разделе приведены результаты исследования энергетической эффективности использования энергосберегающих красок для утепления фасадов зданий и в качестве тепловой изоляции для трубопроводов с горячим теплоносителем.

Исследование энергетической эффективности энергосберегающих красок при утеплении фасадов зданий было выполнено на полномасштабном исследовательском полигоне, установленном на стене жилого дома. Полигон представляет собой предварительно оштукатуренный цементным раствором толщиной 10 мм участок стены дома, разделённый на зоны высотой 3,9 м и шириной 2 м с различными видами тепловой изоляции. Для исследования энергетической эффективности были выбраны следующие виды покрытий:

а) на участке №1 полигона тепловая изоляция выполнена по технологии «мокрого» фасада из минеральной ваты ($\delta = 100$ мм, $\lambda = 0,038 \div 0,042$ Вт/(м·К), $\rho = 131 \div 135$ кг/м³);

б) на участках №2 и №3 тепловая изоляция выполнена путём нанесения энергосберегающей краски слоями 1 мм и 3 мм соответственно. Для обеспечения одинаковой толщины слоёв энергосберегающая краска была нанесена на стену машинным способом при помощи краскопульты;

в) участок №4 полигона был покрыт только цементной штукатуркой толщиной 10 мм без нанесения энергосберегающих покрытий.

В ходе проведения экспериментов были измерены: тепловые потоки и температуры на поверхностях экспериментальных участков прибором ИТП–МГ4.03/Х(І) «Поток» с погрешностью измерения теплового потока ± 6 % и температуры $\pm 0,2$ °С; температуры между слоями покрытий и температуры наружных поверхностей каждого экспериментального участка при помощи термопар типа «Т» и вторичного прибора ADAM–4000 с погрешностью измерения ± 1 °С; температура наружного воздуха при помощи метеостанции Davis AdvantagePro2 с погрешностью измерения 0,5 °С.

Установлено, что тепловые потери здания при нанесении теплоизоляции по технологии «мокрого» фасада из минераловатных плит толщиной 100 мм снижаются на 62 %, при нанесении энергосберегающей краски слоями в 1 мм и 3 мм – тепловые потери снижаются на 8,3 % и 11,8 % соответственно. При этом за базовое значение потерь тепловой энергии приняты тепловые потери от поверхности без нанесения энергосберегающих покрытий (участок №4).

В результате проведения эксперимента также были получены данные о величине средней интегральной степени черноты исследуемых теплоизоляционных материалов. В диапазоне температур $-20 \div 0$ °С средняя интегральная степень черноты у всех исследуемых теплозащитных покрытий равна $0,96 \div 0,98$.

Для исследования эффективности применения энергосберегающих красок в целях уменьшения тепловых потерь от трубопроводов с горячей водой была проведена серия экспериментов в тепловом пункте, в котором расположены два трубопровода сетевой воды диаметром 219 мм и длиной 2300 мм. Из-за высокой обводнённости грунта теплового пункта обслуживающий персонал использует трубопроводы в качестве трапов для прохода к запорной арматуре, что приводит к механическим повреждениям тепловой изоляции и её гидроизоляционного слоя. Поэтому тепловая изоляция намокает, а повышенная влажность приводит к коррозии металла трубопроводов. Для снижения коррозии металла и уменьшения тепловых потерь теплоносителя было предложено покрыть трубопроводы энергосберегающей краской толщиной $\delta_{кр} = 2,5 \pm 0,2$ мм. Эффективность применения энергосберегающей краски была определена путем сравнения температуры наружной стенки трубопроводов и тепловых потоков с их поверхности «до» и «после» нанесения тонкопленочного покрытия. Между измерениями тепловой пункт и окрашенные трубопроводы были затоплены горячей водой из-за аварии на теплотрассе. Однако воздействие горячей воды с температурой ~ 60 °С в течении 5 суток не привело к разрушению слоя энергосберегающей краски, что свидетельствует о стойкости данного вида тонкопленочного покрытия к действию горячей воды с температурой ~ 60 °С. Экспериментально установлено, что после нанесения тонкопленочного покрытия, во-первых, тепловые потери снизились от прямого трубопровода на 42,5 %, а от обратного трубопровода на 63,4 % и, во-вторых, температура поверхности прямого трубопровода уменьшилась на 17 °С, а температура поверхности обратного трубопровода на 23,1 °С.

При значениях коэффициента теплопроводности у энергосберегающих красок и минераловатной изоляции одного порядка для достижения одинакового энергосберегающего

эффекта толщины энергосберегающей краски и изоляции из минеральной ваты должны быть сопоставимы, что экономически невыгодно. Однако, в условиях повышенной влажности теплоизоляционные свойства минераловатных теплоизоляционных материалов резко ухудшаются и использование тонкопленочных покрытий из энергосберегающей краски становится экономически целесообразным энергосберегающим мероприятием.

Список использованных источников

1. Игнатова, О.А. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2 ч. Ч.2. Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. Образования / О.А. Игнатова. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 288 с.

УДК 62-551.454

Е. Ю. Воронцов , В. Г. Лисиенко , Н. Н. Пономарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ТРЕНАЖЕР-ЭМУЛЯТОР АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ НА БАЗЕ МУФЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ТИПА МП–2УМ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB

Аннотация

Разработан тренажер-эмулятор адаптивной системы управления температурой муфельной электропечи типа МП–2УМ. Эмулятор позволяет получить графики изменения температуры внутри камеры печи и график изменения коэффициента передачи настройки ПИД-регулятора, а также он может быть использован для обучения персонала предприятий металлургического комплекса с целью повышения их квалификации и уровня профессиональной подготовки, а также для обучения студентов высших учебных заведений.

Ключевые слова: настройка, эмулятор, адаптация, электропечь сопротивления, температура.

Abstract

In this article developed a simulator-emulator adaptive control system temperature muffle furnace of the type MP–2UM. The emulator allows to obtain graphs of the temperature inside the oven chamber and a graph of the transmission coefficient settings of PID controller and also it can be used for training of the personnel of the enterprises of the metallurgical complex with the aim of increasing their qualifications and level of professional training and also for training students of higher educational institutions.

Key words: tuning, emulator, adaptation, electric furnace of resistance, temperature.

Задача создания математических моделей работающих в составе систем управления нагревом на промышленных электропечах сопротивления является очень актуальной. В этом случае, с помощью математических моделей технологического процесса и соответствующих методов и алгоритмов, решается задача оптимального управления тепловыми режимами печи по выбранным критериям. Кроме того, решаются задачи информационного обеспечения, позволяющие технологам более точно проводить процесс термообработки, предоставляя ему дополнительную информацию, недоступную для прямого измерения [1]. При этом в технологическом плане ставится задача нагрева до заданных температур за определенное время, обеспечение требуемой равномерности нагрева, снижения угара металла.